

Nanociência e Bioética: novas abordagens éticas para novos paradigmas científicos

Nanoscience and Bioethics: new ethical approaches to new scientific paradigms

Monique Pyrrho

Cátedra UNESCO de Bioética e Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil.

monique@unb.br

Resumo: Partindo do pressuposto que a nanotecnologia representa um ramo expoente de um novo paradigma científico, segundo o referencial de Kuhn, discute-se a importância ética do surgimento de um conhecimento científico que traz, em sua estrutura, uma ruptura com o modelo vigente de ciência. Seus fundamentos, que esbarram incomodamente nas básicas previsibilidade e reprodutibilidade científicas, aliados à rara simultaneidade entre a reflexão ética e os avanços tecnológicos, fazem da nanotecnologia uma inovação mesmo se comparada às recentes revoluções tecnocientíficas. A possibilidade de refletir sobre as implicações éticas que essa inovação introduz depende da capacidade de incorporar novas disposições aos referenciais morais tradicionais, tais como a pluralidade moral da sociedade e a capacidade de deliberar no presente, mesmo diante de conseqüências futuras parcialmente imprevisíveis. Considerando esse contexto, é útil identificar as implicações éticas autógenas à nanotecnologia, os possíveis resultados diretos de seu uso, particularmente aspectos como toxicidade e impacto ambiental. Mas talvez sejam as implicações heterógenas, resultantes da incorporação dessa tecnologia na dinâmica social, freqüentemente representadas na ficção científica, as que demandem maior atenção.

Palavras-Chave: Nanotecnologia. Bioética. Paradigmas científicos. Ética na pesquisa.

Abstract: Considering nanotechnology as an important branch of a new scientific paradigm, according to Kuhn's terminology, we discuss the ethical relevance of the emergence of a scientific knowledge that brings, in its very structure, a rupture with the current scientific model. Associated to the fact that ethical reflection and technological advances are rarely simultaneous, the foundations of nanotechnology, which conflict with basic scientific principles of prediction and reproduction of results, qualify it as innovative even in light of recent technical and scientific revolutions. The possibility of ethical analysis on the innovations introduced depend on the ability to

incorporate new considerations into traditional frames of reference, such as the ability to deliberate now even if part of the results are unpredictable, as well the ability to take social plurality into account. In this context, it is useful to identify the autogenous implications of nanotechnology, which are directly related to its use, particularly considerations of toxicity and environmental impact. The issues that may demand greater attention, however, may be the heterogenous ones, which result from the incorporation of this technology to the social structure, as frequently depicted in science fiction.

Keywords: Nanotechnology. Bioethics. Scientific Paradigms. Research Ethics.

Há algo de novo na nanotecnologia enquanto revolução tecnocientífica: a reflexão ética se antecipa às descobertas. Mais do que o avanço tecnológico propriamente, o que há de mais inovador na nanotecnologia é a discussão ética que ocorre contemporaneamente aos acontecimentos científicos. Já na primeira referência ao tema, são as expectativas de transformação de nossa relação com o mundo, de ir tão fundo na estrutura da matéria, que motivam Feynman (1), muito antes da real possibilidade de manipulação e conformação de compostos em níveis atômicos e moleculares. As repercussões antecipam e ofuscam os fatos. Os debates sobre as transformações do mundo e do humano em pós-humano se dão antes da ciência básica, o grey goo apocalíptico se instala antes mesmo da própria nanotecnologia estabelecer claramente métodos e procedimentos. Ainda que a dimensão da reflexão ética necessária atualmente não se restrinja às iniciais abordagens utópicas ou distópicas, é significativo e raro que o debate sobre implicações éticas tenha ocorrido antes dos avanços científicos.

No entanto, não são discussões entre o progresso e o conservadorismo, visões implausíveis ou cenários perturbadores que devem pautar a análise do tema. Uma abordagem ética, que não deseje enveredar por temas que a ficção científica retrata melhor, se dá ao atentar que a nanociência, em suas estruturas e abordagem científicas, ilustra uma ruptura característica dos novos paradigmas com o modelo científico clássico.

Em nanotecnologia, uma das lições iniciais é compreender que o que a caracteriza não é apenas o seu tamanho, mas as propriedades

químicas e físicas dos materiais que particularmente dele dependem (2). Portanto, o objetivo principal da nanotecnologia não é a obtenção do benefício direto vindo da redução do tamanho das partículas. O grande atrativo de se trabalhar em nanoescala residiria nas novas e incomuns propriedades físicas e químicas, não encontradas nos mesmos materiais em dimensões micro e macroscópicas.

A transferência tanto dos métodos entre as disciplinas quanto de posteriores aplicações tecnológicas implica na não-factibilidade de conhecer todas as possibilidades de utilização e de prever o alcance das conseqüências dos usos conhecidos. No caso da nanociência, a própria fundamentação teórica incrementa essa imprevisibilidade. As características específicas da dimensão nanométrica, que proporcionam propriedades divergentes e inovadoras em relação às leis físico-químicas que determinam o comportamento do material nas "normais" escalas macroscópicas, implicam significações éticas novas e, em parte, também imprevisíveis.

Paradigma científico e implicações éticas

No caso da nanotecnologia, é o comportamento diverso e imprevisível dos materiais manipulados em nanoescala o fundamento de sua ciência, sendo a ela intrínsecos, portanto, o desconhecido e o imprevisível. O conhecimento científico, que é insuficiente para proporcionar soluções morais, se revela aqui também incapaz, em última análise, de descrever fenômenos e fornecer informações necessárias à reflexão sobre seus aspectos éticos.

As questões e urgências éticas advindas das aplicações nanotecnológicas se apresentam numerosas e complexas demais para serem respondidas de forma satisfatória somente por parte dos atores envolvidos. A história já provou ser insuficiente, e por vezes enviesada, a análise de questões éticas relacionadas aos avanços tecnológicos conduzida apenas pelos cientistas. Frente a uma ciência que, além de não possuir as ferramentas necessárias para tratar do fenômeno moral, revela quebras epistemológicas em suas características fundamentais de reprodução e previsibilidade e em sua própria função de descrever comportamentos reprodutíveis, faz-se necessária uma construção ética também nova, que enfrente os dilemas propostos nas

formas e na linguagem desse novo paradigma científico: uma ética que saiba dialogar com uma ciência que encontra o imprevisível e desconhecido no âmago de suas bases epistemológicas.

Assim, o anseio por detalhadas análises de riscos, baseadas no pleno conhecimento das possibilidades técnicas, é frustrado. Para ir além de uma ética da precaução, que tem se demonstrado insuficiente para pautar a vida prática, é necessária uma construção mais ampla dos parâmetros éticos. Faz-se necessária a organização de referência transdisciplinar, que considere a complexidade das relações entre os mais diversos níveis da realidade e compreenda os fenômenos científicos e sociais.

A nanociência e a nanotecnologia, com suas extraordinárias promessas e riscos imprevisíveis, podem ser entendidas como um segmento prático de um novo paradigma científico. Kuhn (3), em *A Estrutura das Revoluções Científicas*, descreve o surgimento da ciência moderna e define os paradigmas científicos como os sucessivos modelos de fundamentação das teorias científicas. A ciência normal corresponderia à pesquisa apoiada em realizações científicas que são reconhecidas por algum tempo como fundamentos para a prática posterior. Assim, a ciência normal é fundamentada em paradigmas, ou seja, modelos que estruturam e ordenam o conhecimento científico atual, determinando os métodos e os objetos de estudo. São, portanto, os paradigmas que dão corpo à ciência normal, que em geral desenvolve-se para afirmar e confirmar a teoria e concepções comuns aos cientistas.

Ainda de acordo com Kuhn (3), é da própria ciência normal vigente que se estrutura a revolução científica que dará origem ao próximo paradigma. No caso da nanociência, o paradigma anteriormente vigente era a Mecânica Newtoniana, que avançou a partir da hipótese cartesiana, completando-a em alguns aspectos, para descrever a interação dos corpos macroscópicos. Assim, a pesquisa normal, seguindo o método científico cartesiano de análise, estudo e síntese, influenciou o estudo dos corpos e interações e fez com que, dentro de um determinado contexto histórico, a tentativa de aplicação do paradigma vigente para a miniaturização dos objetos resultasse em sua própria crise.

A verificação da validade do paradigma teórico, fim último da ciência normal, leva à detecção de imperfeições e incoerências entre a teoria e os fenômenos (3). Assim a física quântica nasce da observa-

ção de comportamentos em escalas nanométricas distintos daqueles previstos pela teoria científica vigente. A busca da explicação última, da lei universal que rege o comportamento de todos os corpos em sua menor unidade se vê frustrada, tamanha a divergência do mundo macroscópico. Em níveis atômicos e moleculares, as leis que determinam as interações estão relacionadas à natureza ondulatória dos elétrons e às implicações da frequência e comprimento de ondas nos quais vibram. A busca da confirmação do paradigma científico anterior demonstra "falhas teóricas" que dão origem ao novo paradigma que sustenta a nanotecnologia, a física quântica.

A extrapolação da nanociência ao modelo científico vigente vai além da mudança da teoria física que o explica. A nanotecnologia nasce de uma nova forma de produção científica, a interdisciplinaridade. Segundo Mehta (4), a nanociência representa a "convergência da física quântica, biologia molecular, ciência da computação, química e engenharia". A interdisciplinaridade por meio da transferência e a interação de métodos, aplicações e fundamentações teóricas entre determinadas disciplinas gera novas disciplinas (5): especificamente, a física quântica, a química e a engenharia interagem de forma a convergir na criação da nanociência.

Esta corresponde a um tipo de conhecimento que difere da produção científica cartesiana que busca a especialização, resultando da convergência e interação de conhecimentos distintos. Aproximando-se, desta forma, às necessidades e aos paradigmas científicos da complexidade contemporânea, onde as interações disciplinares também extrapolam a divisão convencional entre ciências exatas, humanas e biomédicas. A nanociência diverge então do método científico baseado na análise para obtenção do conhecimento que, em busca da objetividade da prática científica, gerou a especialização e a disjunção dos saberes, determinando a ignorância recíproca entre as ciências humanas, inconscientes do físico, e as ciências naturais, inconscientes da realidade social (6).

Morin (6), em consonância com as idéias de Kuhn (3), afirma que esta disjunção levou à impossibilidade da observação do mundo em sua real complexidade, à redução da realidade a regras e a leis "matematizadas" que o explicariam perfeitamente, ignorando o imprevisto ou tomando-o como erro. A realidade passou a ser concebida como

a soma dos fenômenos observáveis, sem contemplar as possíveis interfaces entre a ciência e a filosofia, entre as ciências humanas e as biológicas (7).

A partir da percepção da realidade em sua complexidade, uma nova tecnologia e um novo paradigma científico têm implicações práticas que ultrapassam os limites disciplinares originários. O pensamento complexo é ilustrado como uma rede e procura analisar as possíveis interações entre os mais diversos níveis de realidade e as repercussões dos fatos, consciente, porém, que o imprevisto é característica dos fenômenos e não um resultado do erro ou algo a ser desprezado (6).

A complexidade pode ser exemplificada pela ruptura epistemológica da divisão entre ecologia e sociologia, onde a análise científica tem por objeto o meio sem o homem e o homem fora do ambiente. Entende-se, portanto, que esta divisão é artificial e etnocêntrica, pois a mudança do ambiente determina importantes impactos sociais assim como o inverso também ocorre. Logo, a análise das possíveis conseqüências da nanotecnologia deve ocorrer de forma a não se desconnectarem estas dimensões (8). Esta compreensão é fundamental na análise das reais implicações e distribuição dos benefícios sociais causados pela economia de energia e matéria proporcionada pela indústria nanotecnológica (9).

Um novo paradigma surge, em geral, com respostas mais adequadas para as questões não respondidas pelo anterior, capacitando os cientistas a explicar um maior número de fenômenos ou de forma mais precisa alguns dos fatos previamente conhecidos. Por isso, a aplicação de novas tecnologias gera polêmica, tanto por ser considerada por alguns, ingenuamente, como a solução de todos os problemas do mundo, como por explicitar um conjunto de fenômenos desconhecidos, gerando descrédito e, por vezes, pânico frente ao desconhecido (3).

A nanotecnologia não foge a esta regra. Por vezes apresenta-se na forma de uma tecnologia revolucionária que mudará a forma de viver do homem, por meio da sua utilização na indústria, comunicação e informática. Na medicina, parece apresentar ainda mais soluções às limitações humanas, prometendo cirurgias menos invasivas e mais eficazes, medicamentos mais específicos, tratamento de doenças como o câncer e até mesmo com a possibilidade de proporcionar melhoras dos processos cognitivos e da memória (10).

Por outro lado, o desconhecimento atual do real alcance da nanotecnologia leva a reações extremas, alardeando riscos ambientais, implicações sociais e no modo de viver humano. Exemplo é o debate em torno do chamado grey goo, que se refere à situação em que os dispositivos nanoescalares, os nanorobôs, dotados de capacidade de auto-replicação ocupariam o mundo, fugindo ao controle humano e, por fim, eliminariam a espécie do planeta (11).

Assim, é desejável que a Bioética dedique-se aos temas éticos decorrentes do acelerado desenvolvimento científico e tecnológico dos últimos anos. No entanto, a bioética não deve ser usada como um instrumento metodológico pretensamente neutro de leitura e interpretação dos conflitos provocados por avanços científicos, camuflando as origens coletivas dos dilemas e acarretando profundas distorções sociais. Pelo contrário, a abordagem das temáticas emergentes, como é o caso da nanotecnologia, se dá a partir de um arcabouço crítico e epistemologicamente dialético, engajado com as questões sociais, em busca de respostas aos paradoxos éticos impostos pelo contexto de desequilíbrio social (12).

É fato que os rápidos avanços da nanotecnologia têm trazido à tona vários debates sobre as implicações éticas de seu uso. Emergem, desta forma, temas relacionados à equidade, distribuição dos benefícios e acesso aos avanços científicos, impactos ambientais (uso de novos materiais e propriedades novas de materiais já conhecidos podem torná-los insolúveis ou poluentes), implicações para a privacidade e segurança (equipamentos de monitoramento invisíveis e infinitas possibilidades para a indústria bélica), modificação da constituição de seres vivos (organismos transgênicos), dispositivos moleculares auto-replicáveis, entre outros (13).

Embora as possíveis implicações éticas e sociais sejam muitas, e não restritas à toxicidade imediata ao ser humano, é preocupante a escassez de estudos aprofundados a respeito das implicações éticas, ambientais, legais e sociais da aplicação da nanotecnologia. Enquanto, as pesquisas sobre aspectos técnicos e científicos da nanotecnologia têm crescido intensamente nos últimos anos, tanto o investimento quanto as pesquisas sobre os possíveis impactos éticos e sociais dessa tecnologia são ainda incipientes. As abordagens feitas comumente demonstram o distanciamento entre o saber técnico-científico e as re-

flexões sócio-políticas e filosóficas necessárias (14).

Sotolongo (15) destaca dois importantes aspectos que demandam uma atenção ética específica em relação ao tipo de ciência atual exemplificada na nanociência. Primeiramente, pela grande capacidade de intervir em fenômenos naturais, o homem de maneira inédita é capaz de interagir com a matéria e a energia manipulando-as, o que o capacita a potencializar suas habilidades físicas e até mesmo intelectuais por meio de sistemas integrados cada vez mais autônomos. Quanto mais a ciência aproxima-se do controle das condições do meio, mais próxima encontra-se da potencialidade concreta de destruição. A segunda circunstância deve-se à grande quantidade de conhecimentos adquiridos, o que tornou impossível identificar todos os possíveis usos e interações práticas das tecnologias decorrentes. Diante da complexidade natural e social, as implicações práticas não são suscetíveis de conhecimento, previsibilidade ou manipulação a partir de uma relação de controle; ao contrário, mostram aspectos inerentes de incerteza e de certa independência em relação aos criadores.

Algumas abordagens éticas: uma tipologia

Longe de esgotar os possíveis aspectos éticos levantados pela nanotecnologia, a proposta lançada neste momento é esboçar o que a literatura e os debates sobre o tema apontam como principais aspectos éticos que emergem da aplicação da nanotecnologia e de sua relação com a sociedade. Com esta finalidade, diversos autores se propuseram a aventar e enumerar os mais diversos impactos possíveis.

Seguindo uma tendência que busca agregar e categorizar as possíveis questões éticas derivadas do tema, encontram-se propostas como a de Schummer (16) que, para enfrentar a tarefa de discutir a relação entre ética e nanotecnologia, classifica suas implicações em tópicos específicos e aspectos gerais. Os primeiros compreenderiam a abordagem ética relacionada aos processos de pesquisa em particular, o processo de produção do laboratório à indústria, manipulação, os produtos tecnológicos e suas aplicações. Já os aspectos gerais referem-se à maneira como os programas científicos são desenvolvidos e controlados, como se situam nos contextos científico e social mais amplos.

A Bioética, que tem entre seus objetos de estudo as interações

entre tecnologia e sociedade, repercussões do uso de instrumentos e de conhecimentos produzidos pelo homem, volta o seu olhar à nanotecnologia não pelas dimensões das nanopartículas. O interesse está na alteração da matéria por meio da técnica, a transformação por intermédio humano e não na dimensão nanométrica em si, visto que é encontrada no ambiente independentemente da interferência do engenho humano. Enfatiza-se, porém, que mesmo da intervenção humana não deriva qualquer valor moral intrínseco. Um composto de carbono não é eticamente melhor do que outro, seja ele nanoestruturado ou não. É nas relações entre os homens, em sociedade, e com o meio que os produtos e seus usos se mostrarão mais ou menos adequados.

Algumas destas implicações éticas se demonstram de forma mais óbvia, como quando um composto é tóxico ou poluente. Outros desafios éticos se tornam nítidos apenas nas complexas interações sociais, como as repercussões na economia mundial e na desigualdade social resultantes da introdução e apropriação das nanotecnologias pelo mercado.

Emprestando da literatura alguns critérios de classificação e associando-os à idéia já proposta de que a abordagem ética da nanotecnologia passa pela imprevisibilidade paradigmática deste fenômeno tecnocientífico, se propõe aqui uma apreciação esquemática das possíveis questões. Os dilemas resultantes da interação de um novo paradigma científico com as complexas e globais dinâmicas sociais, juntamente à factibilidade da análise de riscos no uso de produtos nanotecnológicos, permitem classificar as análises éticas das implicações da nanotecnologia em duas categorias: autógenas e heterógenas.

Implicações éticas autógenas

As nanotecnologias são caracteristicamente tecnologias de melhoramento, ou seja, refinam e aprimoram instrumentos e materiais para outras áreas, assim como muitas das tecnologias de convergência. Alteram compostos e dispositivos já existentes, mas também desenvolvem novos. É este aspecto que mais está relacionado a conseqüências cientificamente observáveis e por vezes de grande proporção.

As nanopartículas não são invenções atuais, mas a capacidade de

estruturá-las sistematicamente para a exploração industrial de suas propriedades certamente é nova. Os produtos assim desenvolvidos para fins esportivos, alimentícios, automotivos, cosméticos, de informática e muitos outros começam a ser disponibilizados no mercado. Esta produção em escala industrial é crítica, já que pode acarretar significativos danos ao ambiente, aos trabalhadores e à grande população ávida por insumos tecnológicos.

O desconhecimento parcial das propriedades dos materiais soma-se à regulação defasada por parte dos organismos nacionais e internacionais, que levam em conta a composição química dos elementos e não sua conformação. Isto possibilita que um novo composto nanoestruturado chegue ao mercado de medicamentos, por exemplo, sem passar por novos testes de toxicidade, sendo que as reações orgânicas podem ser completamente diversas.

A própria análise toxicológica ou imunológica pode estar limitada, já que os padrões de normalidade e anormalidade desses testes avaliam apenas as reações de partículas macro e microscópicas. Vale lembrar que a própria nanociência surge da constatação de que toda a análise científica se embasa na adequação entre método e interpretação. Se um instrumento adquire alcance para manipular outras escalas, pode revelar novas regras ou interpretar diversamente um padrão conhecido.

As implicações éticas autógenas não foram assim denominadas por se entender que são intrínsecas à nanotecnologia, afirmação da qual se poderia apreender erradamente um valor ontológico bom ou ruim de suas aplicações tecnológicas. As implicações são consideradas autógenas por se aproximarem a concepção de um efeito causal, por serem referentes principalmente a aplicação dos adventos tecnológicos pelo homem, sem que haja necessidade de uma complexa interferência de outros fatores. São estas as repercussões mais frequentemente visitadas nos debates, por aproximarem-se do modelo predominante de Ética da ciência, normalmente restrito à avaliação do impacto dos produtos e dispositivos no ambiente e na saúde. Entretanto, exatamente onde o uso parece apresentar riscos mais suscetíveis à mensuração e análise, é necessário assegurar-se de que a mesma tecnologia que produz é capaz de fornecer instrumentos suficientemente calibrados para avaliar as falhas de sua produção e apontar soluções.

Implicações éticas heterógenas

A justificação para a classificação e a nomenclatura recorre em parte à concepção da tecnologia enquanto rede, na qual o carácter de associação entre elementos diversos é central. Os fenómenos sociais são tomados amplamente, são rompidos os limites forjados entre as entidades e elementos humanos e não-humanos (17).

As possíveis repercussões do uso da nanotecnologia, aqui tratados, têm suas origens nas interfaces das diversas dimensões culturais, sociais, económicas, ambientais, políticas desta rede. Heterógenas, porque fundamentalmente resultantes de interações complexas, demandam uma avaliação ética que ultrapasse as análises fundadas em relações causa-efeito e análises lineares de riscos.

Expectativas imediatistas de resolver tecnicamente problemas sociais mais profundos, como a perspectiva de que algumas das principais aplicações da nanotecnologia possam auxiliar as metas de desenvolvimento da ONU, com a produção energética e aumento da produtividade agrícola (18), levantam problemas de ordem ambiental, política, económica e de saúde pública que, por implicações mútuas, deflagram uma discussão que se distancia de soluções simples.

Embora algumas implicações éticas heterógenas, como o controlo social, a propriedade intelectual, a economia do conhecimento, as injustiças sociais, não despertem a atenção da mídia ou exasperem os ânimos como o fazem os cinematográficos ciborgs e a prometida cura para todo mal, talvez sejam as implicações que retratem as dimensões mais tangíveis e necessárias para a análise ética da nanotecnologia.

Reconhecendo a defectibilidade comum às classificações científicas, as categorias aqui propostas servem ao propósito de relacionar a possibilidade de analisar os riscos decorrentes da nanotecnologia e as complexas interdependências estabelecidas socialmente. E apontam para a dinâmica social como o locus onde extenuantes reflexões éticas e debates públicos se fazem mais necessários.

Disposições Finais

A interdisciplinaridade e a impossibilidade de conhecer todas as aplicações e implicações da nanotecnologia conferem um carácter de

ruptura à abordagem científica que a origina. A própria fundamentação teórica da nanociência está assentada nestas propriedades inovadoras. A impossibilidade do conhecimento pleno e a imprevisibilidade inerente às propriedades exploradas pela nanotecnologia fazem com que não somente surjam novos desafios éticos, mas também emergja a necessidade de uma nova abordagem ética.

Torna-se explícita a distinção que pode haver entre a ética tradicional, que tenta responder posteriormente a questões já apresentadas, e uma nova concepção que tenta adiantar a reflexão ética às possíveis implicações morais advindas da aplicação desta nova tecnologia. Esta diferença, juntamente ao entendimento da complexidade da realidade, aponta para a necessidade de uma análise da aplicação da nanotecnologia a partir de uma perspectiva bioética que possua fundamentos suficientemente dinâmicos para respondê-las e que não se limitem a uma ética codificada ou estritamente principialista.

Para a análise de uma tecnologia inovadora é necessária uma abordagem bioética que considere não apenas a complexidade da realidade como um todo, mas também as questões morais específicas de um determinado contexto sócio-cultural. Para tanto, a Bioética necessária não é mais aquela embasada epistemologicamente em princípios, os quais carecem de fundamentação teórica suficientemente estratificada e de eficácia em contextos complexos.

As suas bases não devem se apoiar em um conhecimento científico segmentado que se acumula, mas em um conhecimento (dos fatos) que contemple a complexidade e a totalidade em que se constroem, pela elucidação mútua entre o todo, as partes e as contradições. A partir destes parâmetros, será possível gerar implicações normativas aplicáveis a um diálogo moral que se paute na tolerância às diferenças, e possa, inclusive, balizar decisões em situações sócio-econômico-culturais diversas (5).

Longe de atribuir valores morais intrínsecos, o intento de propor uma distinção entre implicações autógenas e heterógenas na construção da abordagem ética da nanotecnologia, considerando a falibilidade a que estão sujeitas todas as classificações, é distinguir as interações que a proporcionam.

Os processos de pesquisa, produção e aplicação da nanotecnologia são considerados pelas temáticas autógenas. Neste caso, a re-

flexão ética que passa por uma análise de riscos, nem sempre previsíveis, exige uma dupla habilidade: o aprimoramento técnico, com o desenvolvimento de dispositivos adequados para tal avaliação, mas também a busca de novos parâmetros éticos que se sustentem mesmo diante de uma parcela de desconhecimento.

As questões heterógenas, que tratam das interações complexas tramadas entre sociedade, tecnologia, ambiente, política e economia, dentro da incipiente discussão ética da nanotecnologia, são as que menos têm recebido atenção, embora em uma leitura sóbria e atenta demonstre a relevância das mesmas.

Diante do modismo que dita a corrida dos laboratórios pelo prefixo "nano" em suas pesquisas e dos países para liderar a produção nanotecnológica de ponta, as pessoas responsáveis pelas decisões oscilam entre o descaso para com os aspectos éticos do progresso científico e a moratória definitiva das pesquisas. Frente a este quadro, mais do que urgência ou alarde, a reflexão ética precisa do ritmo sóbrio do conhecimento científico, mas somente daquele necessário para proporcionar o diálogo que contemple a diversidade de interações e atores envolvidos.

Referências

1. Feynman RP. There's plenty of room at the bottom. In: Gilbert HD. Miniaturation. New York: Reinhold Publishing Corporation; 1961. p. 282-296.
2. Ratner M, Ratner D. Nanotechnology. Prentice Hall: New Jersey; 2003. p. 5-6.
3. Kuhn TS. A Estrutura das Revoluções Científicas. 5.ed. São Paulo: Perspectiva; 2001.
4. Mehta MD. Nanoscience and nanotechnology: Assessing the nature of innovation in these fields. Bulletin of science, technology & Society 2002; 22(4): 269-73.
5. Garrafa V. Multi-inter-transdisciplinaridade, complexidade e totalidade concreta em Bioética. In: Garrafa V, Kottow M, Saada A (orgs.) Bases conceituais da bioética: Enfoque latino-americano. São Paulo: Gaia/Unesco; 2006. p. 73-85.
6. Morin E. Os desafios da complexidade. In: _____. A religação dos saberes: O desafio do Século XXI. Rio de Janeiro: Bertrand; 2001. p. 564.
7. Morin E. A inteligência cega. In: _____. Introdução ao pensamento complexo. 2. ed. Lisboa: Instituto Piaget - Divisão editorial; 1990. p. 13-23.
8. Victoriano JMR. Intersecções entre sociologia e ecologia: a pesquisa como

fenômeno social total a partir da perspectiva crítica de Jesús Ibáñez. In: Martins PR. (org.) Nanotecnologia, Sociedade e Meio-ambiente. São Paulo: Xamã; 2006. p. 87-109.

9. Schnaiberg A. Contradições nos futuros impactos socioambientais oriundos da nanotecnologia. In: Martins PR (org.) Nanotecnologia, Sociedade e Meio-ambiente. São Paulo: Xamã; 2006. p. 79-86.

10. Freitas Jr RA. What is nanomedicine? *Nanomedicine, Nanotechnology, Biology and Medicine* 2005; 1(1): 2-9.

11. Feder BJ. Opposition to Nanotechnology. *New York Times*, 19 ago 2002; (C3).

12. Garrafa V, Porto D. Intervention Bioethics: a proposal for peripheral countries in a context of power and injustice. *Bioethics* 2003; 17(5-6): 399-416.

13. Salvarezza RC. Why is nanotechnology important for developing countries? In: UNESCO. Proceedings of the third Session of the World Commission on the Ethics of Scientific Knowledge and technology. Rio de Janeiro: UNESCO; 2003. p. 134-36.

14. Mnyusiwalla A, Daar AS, Singer PA. 'Mind the gap': science and ethics in nanotechnology. *Nanotechnology* 2003; 14(3): 9-13.

15. Sotolongo PL. O tema da complexidade no contexto da Bioética. In: Garrafa V, Kottow M, Saada A (orgs). Bases conceituais da bioética: Enfoque latino-americano. São Paulo: Gaia/Unesco; 2006. p. 93-113.

16. Schummer J. Identifying ethical issues of nanotechnologies. In: Ten Have HAMJ (org). *Nanotechnologies, ethics and Politics*. Paris: Unesco; 2007. p. 79-98.

17. Benakouche T. Tecnologia é sociedade: contra a noção de impacto tecnológico. *Cadernos de Pesquisa PPGSP* 1999; 17: 1-28.

18. Salamanca-Buentello F, Persad DL, Court EB, Martin DK, Daar AS, Singer PA. Nanotechnology and the developing world. *Plos Medicine* 2005; 2(5): 383-386.

Recebido: 06/08/2008 Aprovado: 15/10/2008